

SECCIÓN II: FUNDAMENTOS DEL TEMA DE INVESTIGACIÓN

2. BASES TEÓRICAS.

En este capítulo se describen los conceptos, enfoques e ideas que permiten el desarrollo del trabajo de investigación. Así mismo, se hace una breve descripción, del estado actual del tema tratado en el ámbito internacional, y se evidencia la “pertinencia” de la actual investigación en su área de aplicación.

Las herramientas y metodologías utilizadas en el presente trabajo de investigación están relacionadas con la evaluación ambiental, en términos de análisis de ciclo de vida, herramienta que permite hacer una evaluación de todas las etapas de los procesos o cadenas de procesos y evaluar su incidencia ambiental. Así mismo, se describen los aspectos más importantes de la evaluación del destino y exposición de contaminantes.

La evaluación del riesgo ambiental, en términos de riesgos ecológicos y a la salud, a través de diferentes formas de análisis, es uno de los tópicos tratados en este capítulo, y que dan paso a la descripción de las diferentes formas de evaluar del daño ambiental.

En términos del análisis de procesos, se describen los principales temas del diseño y ecodiseño de procesos, y las principales vías de desarrollo.

La evaluación del coste total, relaciona los aspectos económicos de los procesos productivos con la análisis ambiental. Finalmente, de desarrolla la toma de decisiones ambientales tema de primordial importancia y tarea compleja en el análisis de proceso desde una perspectiva ambiental.

2.1 ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA

El análisis de ciclo de vida (o LCA de sus siglas en Inglés), que incluye el análisis del inventario (Life Cycle Inventory Analysis. LCIA), y la evaluación del impacto de ciclo de vida (Life Cycle Impact Assessment LCIA) es una metodología que permite identificar y evaluar las cargas ambientales asociadas al ciclo de vida de materiales y servicios en un proceso productivo. Está

metodología se basa en el enfoque “desde la cuna a la tumba” y permite la identificación y evaluación sistemática de las oportunidades para minimizar las consecuencias medioambientales del uso de los recursos naturales y las descargas medioambientales.

Los esfuerzos por desarrollar la metodología de ACV iniciaron en Estados Unidos en la década de los setenta [SETAC, 1993]. En la actualidad, la Sociedad de Toxicología Medioambiental y Química (SETAC-Norteamérica) y la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US-EPA) han patrocinado y desarrollado talleres y otros proyectos que intentan promover un acuerdo general en su estructura, de manera que exista información estandarizada de los resultados de los análisis de inventario y de evaluación del impacto del ciclo de vida. Esfuerzos similares han sido emprendidos por SETAC-Europa, otras organizaciones internacionales (como la Organización de las Normas Internacional, ISO), y practicantes de LCA mundial. Como resultado de estos esfuerzos, se ha logrado un acuerdo general para el planteamiento de una estructura global de ACV y una metodología del inventario bien definida [Unep-Setac, 2001].

El Análisis del Ciclo de Vida (ACV) es una herramienta versátil para cuantificar (bajo el enfoque “desde la cuna a la tumba”) todos los impactos ambientales de una actividad (producto, proceso, o servicio). El objetivo fundamental es elegir la mejor actividad con el menor efecto sobre el entorno (salud humana, recursos naturales y ecosistemas). Existen otros objetivos que van desde probar que un producto es ambientalmente superior al de la competencia, hasta establecer una línea base de información sobre el uso total de los recursos de un sistema, el consumo de energía, y las cargas ambientales [US EPA, 2001].

Para la organización internacional de estandarización [ISO, 1997], un Análisis del Ciclo de Vida *es un proceso objetivo para evaluar las cargas ambientales asociadas a un producto, proceso o actividad, mediante la identificación y cuantificación de la energía y los materiales usados, así como los residuos emitidos al entorno, para analizar el impacto de éstos sobre el medio ambiente y evaluar e implementar posibles mejoras.*

Una tercera definición de ACV es: *el Análisis de Ciclo de vida es una herramienta que permite identificar flujos de materia y energía, asociados con un producto a través de todo su ciclo de vida, de manera que los impactos ambientales puedan ser determinados* [Castells et al, 1995].

Existen varias decisiones básicas que deberían ser tomadas para dar inicio a un análisis de ciclo de vida, de manera que se pueda hacer un efectivo uso de tiempo y dinero, y por lo tanto, darle respuesta a importantes interrogantes, que los tomadores de decisiones se plantean al momento de diseñar una actividad [SETAC-Europe, 1999]. Respuestas a interrogantes tales como: ¿Qué impactos serán más importantes para los usuarios de la información? ¿Cuál es el impacto más importante en todo el ciclo de vida de la actividad a analizar? ¿Cuál es el grado de incertidumbre aceptado de los datos que se utilizan?, permitirán que las decisiones con respecto

al diseño de los productos o procesos, se acerquen más al concepto de desarrollo sostenible. Una vez los interrogantes han sido definidos, es importante determinar el tipo de información necesaria para encontrar respuestas con fundamento científico.

Otro aspecto fundamental, es la forma como los datos o información necesaria deben ser organizados y como los resultados deben ser mostrados. Para este efecto, es necesario definir una unidad funcional, la que según Wenzel (1997) debe no sólo ser un punto de referencia fijado para la evaluación ambiental, sino también describir apropiadamente la función principal de la actividad estudiada, puesto que la comparación entre diferentes actividades debe hacerse con base en la misma unidad funcional [Wenzel et al, 1997].

Finalmente, en la definición de un ACV, es necesario determinar que etapas de la actividad serán incluidas en el estudio, de manera que este claramente definido hasta donde se pretende llegar. La descripción secuencial de un análisis de ciclo de vida completo presenta las fases que se muestran en el esquema siguiente (Figura 2.1).

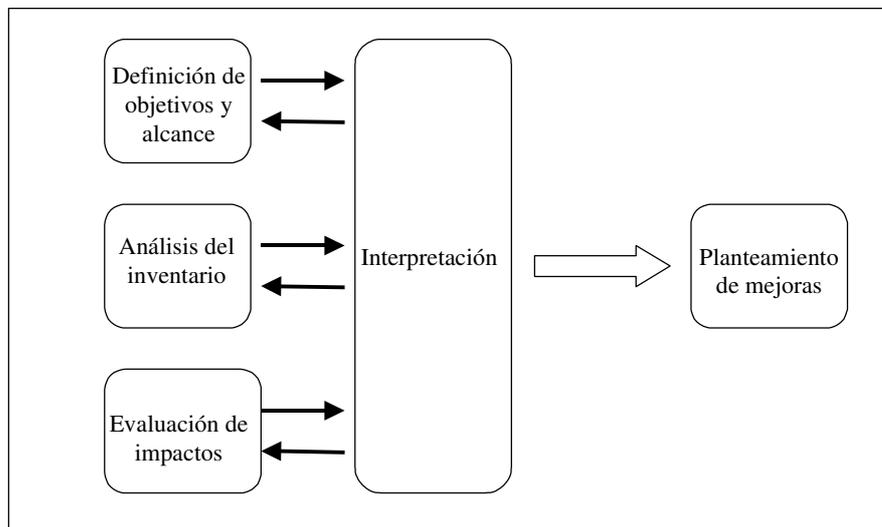


Figura 2.1 Fases del análisis de ciclo de vida. Adaptado de LCA101, EPA, 2001

Las técnicas de mejora de la gestión de proceso basadas en un ACV – por ejemplo, cambios en los procesos, aumento de eficiencia energética y de aprovechamiento de materiales, control y mejoras logísticas - son equivalentes a las técnicas de gestión tradicionales, que desde el punto de vista de reducción de costos están bastante desenvueltas y son bastante conocidas [Herrera et al, 2002].

Por otro lado, la evolución de las técnicas de ACV tienden a involucrar la perspectiva de diferentes actores tales como la sociedad, y las misma compañías productoras, las que inevitablemente deben asumir su rol de usuarios del ACV [Norris, 2000].

Las fases mostradas en el anterior diagrama se describen a través del desarrollo de varios pasos, los cuales como ya se mencionó cubren diversas etapas en las actividades estudiadas. La Figura 2.2 presenta un diagrama esquemático del desarrollo del análisis de ciclo de vida seguido en este estudio.

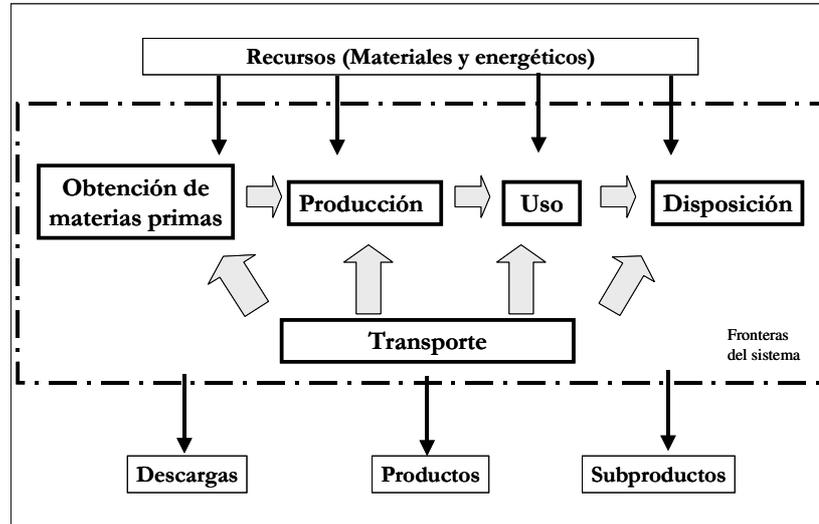


Figura 2.2 Diagrama esquemático de la metodología de análisis de ciclo de vida.

En el siguiente apartado se describe de manera sucinta pero crítica, las fases necesaria para el análisis de ciclo de vida, iniciando con la definición de los objetivos y alcances del estudio, hasta llegar al planteamiento de mejoras, pasando por un análisis del inventario, y la posterior evaluación de impactos.

2.1.1 Definición de objetivos y alcance.

La definición de los objetivos es la fase de un ACV donde se define el propósito de incluir la evaluación de los impactos ambientales en el procedimiento de toma de decisiones. En esta fase se determina el tipo de información necesaria para agregar valor al procedimiento de toma de decisión, la exactitud necesaria de los resultados y como deben ser interpretados estos resultados para que sean significativos [Hertwich, 2000].

Teniendo en cuenta que en general, un ACV se puede utilizar para determinar los impactos ambientales potenciales de un producto, proceso, o servicio, la definición de los objetivos y alcances determinarán el tiempo y los recursos necesarios; así mismo, guiará todo el proceso, asegurándose de que los resultados obtenidos sean significativos.

El establecimiento del alcance define *las funciones del sistema a estudiar, la unidad funcional, los límites del sistema, el procedimiento a utilizar en la asignación de cargas, los impactos a tener en cuenta y la metodología usada en la evaluación de los impactos.*

2.1.2 Análisis de inventario.

El análisis de inventario es un proceso de cuantificación de los flujos de energía y materiales que entran y salen de una actividad durante su ciclo de vida [Castillo, 2000]. Un análisis del inventario es fundamentalmente un balance de materia y energía del sistema, aunque también puede incluir otros parámetros como: utilización de suelo, radiaciones, ruido, vibraciones, biodiversidad afectada, entre otros aspectos.

El desarrollo de un análisis de inventario puede ser útil en diversas formas, por una lado éste puede apoyar el desarrollo de un nuevo producto o proceso al considerar la incidencia ambiental en la selección del material, y por otro lado, al desarrollo de regulaciones que disminuyan el impacto de los recursos naturales (extracción) y de las descargas en diferentes medios.

A partir de documentos de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA) y de la Sociedad de Toxicología y Química Ambiental (SETAC), se ha definido una estructura para el análisis de inventario que se basa en las cuatro etapas que se mencionan a continuación:

- 1) desarrollo de un **diagrama de flujo** que ayude a identificar las etapas (desde procesos unitarios hasta unidades de procesos completas) del sistema a estudiar y su conexión,
- 2) desarrollo de un plan de **selección de datos**
- 3) **evaluación** y finalmente
- 4) reporte de resultados.

El diagrama de flujo es una herramienta que permite ver gráficamente las entradas y salidas de una etapa o sistema. Las fronteras de este sistema son definidas en la fase anterior y varían con cada sistema. Cuanto más grande sea el sistema a evaluar, el diagrama será más complejo, y por lo tanto será necesario invertir más tiempo en su elaboración.

Un adecuado plan de selección de datos permitirá obtener los datos con la calidad requerida, dependiendo del grado de certeza y fiabilidad con que cuentan. Los aspectos más importantes en dicho plan de selección incluyen la definición del tipo, calidad y fuentes de datos.

La recopilación de los datos incluye el uso de listas de chequeo u hojas de trabajo. Tales listas permiten almacenar los datos y por ello deben incluir ciertas áreas de decisión que incluyen el propósito del inventario, los límites del sistema estudiado, el alcance geográfico, los tipos de datos usado, el procedimiento de captura, las medidas de calidad de los datos, la construcción de un modelo computacional (si es posible) y la presentación de resultados.

La asignación o localización (allocation) de cargas ambientales es una técnica de distribución de cargas por corriente o proceso, que permite la identificación y cuantificación del aporte real de cada corriente en el análisis del inventario. En otras palabras, el problema es

decidir qué porción de las cargas medioambientales de la actividad debe asignarse al producto investigado [SETAC, 1998; Ekvall & Finnveden, 2001; US-EPA, 2002].

Existen varios enfoques metodológicos para la asignación de cargas. Halada (1996), propuso un procedimiento de análisis de inventario incluyendo tres tipos diferentes de métodos de asignación dependiendo de las circunstancias: físico, económico o simplemente evitando la asignación. Kim & Dale (2000) propusieron un sistema de expansión para procesos en los que se involucran varios productos. Trinius & Borg (1999) describieron la influencia de un buen método de asignación de cargas en los resultados de una evaluación del impacto de ciclo de vida. Finalmente, Werner & Ritcher (2000) propusieron un sistema de asignación económica de cargas para resolver el problema de asignación en procesos multifuncionales que pueden llevar a cabo una o más funciones durante el ciclo de vida del producto. En este método, los autores adicionan un nuevo elemento al procedimiento propuesto en La norma ISO 14041.

2.1.3 Evaluación del impacto del ciclo de vida (LCIA).

La evaluación del impacto en el ciclo de vida es un proceso técnico cualitativo o cuantitativo que permite caracterizar y evaluar los efectos de las cargas ambientales identificadas en la fase de inventario [UNEP, 1998 & 2000]. De igual forma, la evaluación de impactos, es la fase de un ACV, en donde se valoran los impactos o efectos potenciales sobre la salud humana, los ecosistemas y los recursos naturales, debidos a las descargas identificadas en el análisis del inventario durante el ciclo de vida. La evaluación del impacto, permite establecer una relación, o vínculo entre un producto o proceso y sus impactos medioambientales potenciales.

Uno de los conceptos más importantes en la fase de evaluación del impacto, es la definición de las condiciones que pueden generar el impacto, por ejemplo, si un proceso genera gases de efecto invernadero, el aumento de estos gases en la atmósfera puede incrementar el calentamiento global. Las condiciones que hacen que se genere o incremente un efecto, son las que deben ser identificadas para una eficiente evaluación del impacto [US-EPA, 2001].

Por otra parte, la evaluación del impacto, es un procedimiento sistemático de clasificación y caracterización de los efectos medioambientales. En la actualidad, no existe un total acuerdo acerca de la evaluación de los impactos y riesgos, después de un análisis de inventario. En lo que sí hay acuerdo es en las fases de la evaluación del impacto del ciclo de vida, las cuales son: *clasificación o definición de las cargas*, *caracterización de los impactos*, *normalización* (comparación de los impactos definidos con algún criterio conocido), *valoración* e *interpretación* de los resultados obtenidos [Hoagland, 2001].

La fase de evaluación del impacto proporciona una base sólida para comparar productos o procesos, puesto que aunque mucho puede aprenderse sobre un proceso considerando su inventario, en la mayoría de ocasiones, los valores de las cargas por si solas no dan suficiente

información. Por ejemplo, se puede conocer que un determinado proceso genera 5000 ton/año de SO₂ y otro 2500 ton/año. Una evaluación del impacto de ciclo de vida permite determinar cual de los dos podría generar el mayor impacto potencial dependiendo de su ubicación. Además, la evaluación del impacto también puede incorporar juicios de valor. Por ejemplo, en una zona donde no existan problemas de desertificación de suelos, la emisión de sustancias generadoras de lluvia ácida no tendría la misma valoración que en una zona con este problema.

De acuerdo con el programa de evaluación del impacto de ciclo de vida, de la iniciativa setac-unep [Jolliet et al, 2003], los pasos para la elaboración de la evaluación del impacto de ciclo de vida:

- Selección y definición de categorías de impacto.
- Clasificación (asignación de los resultados del análisis de inventario a las categorías elegidas).
- Caracterización (modelado de los impactos del análisis del inventario en las categorías de impacto usando factores de conversión).
- Normalización (expresando los impactos potenciales en impactos que puedan ser comparados).
- Agrupación (organización y alineación de indicadores).
- Valoración (ponderando los más importantes impactos potenciales).

2.1.4 Interpretación

La interpretación en un análisis de ciclo de vida, es una técnica sistemática para identificar, cuantificar, verificar y evaluar información de los resultados del inventario de ciclo de vida (LCI) y de la evaluación del impacto (LCIA), y comunicarlos eficazmente.

La Organización Internacional para la Estandarización [ISO 14000, 2002] ha definido los dos siguientes objetivos de interpretación de ciclo de vida:

- ✓ Analizar los resultados, concluir acerca del alcance, explicar las limitaciones y proporcionar recomendaciones basadas en los resultados de las fases precedentes de un ACV.
- ✓ Proporcionar una presentación fácilmente entendible, completa y consistente de los resultados de un estudio de LCA, de acuerdo con los objetivos y alcances definidos para el estudio.

Interpretar los resultados de un ACV no es una tarea simple. Mientras se desarrolla un análisis del inventario o se evalúan los impactos del ciclo de vida, es necesario hacer suposiciones, diseñar estimaciones, y algunas decisiones se basan en juicios de valor.

Cada una de estas decisiones debe ser incluida y comunicada claramente y de forma que los resultados expresen de una manera comprensiva las conclusiones obtenidas. En algunos casos, después de un ACV, no es posible declarar que una alternativa es mejor que otra, debido a la incertidumbre en los resultados finales.

El proceso de ACV proporciona información a los tomadores de decisiones de los efectos medioambientales y a la salud asociados con cada alternativa, en las zonas donde ellos ocurren (localmente, regionalmente, o globalmente), y la magnitud relativa de cada tipo de impacto comparado con cada una de las alternativas propuestas e incluidas en el estudio. Esta información revela más claramente las ventajas y desventajas de cada alternativa.

Los pasos para desarrollar la fase de interpretación en un análisis de ciclo de vida, se discuten brevemente a continuación:

- ✓ Identificación de problemas significantes: relacionado con el análisis de dominancia para determinar cuales son los aspectos significativos en la actividad en estudio.
- ✓ Evaluación de la sensibilidad y consistencia de los datos: este aspecto se relaciona con el grado de incertidumbre soportado por el estudio, el cual depende del objetivo del análisis.
- ✓ Elaboración de conclusiones y recomendaciones: este aspecto está relacionado con el resultado último de la fase, y su objetivo es interpretar los resultados obtenidos.

De acuerdo con la red Europea para la investigación y el desarrollo de una evaluación estratégica del ciclo de vida [LCANET, 1997], es necesario orientar la realización en ACV hacia tres áreas:

1. Desarrollar estructuras de procedimiento que involucren áreas de protección que presenten una importancia considerable en su entorno y así mismo que involucren información social, económica, científica e incertidumbre acerca de la relación entre los indicadores de categorías de impacto, indicadores de punto final y áreas de protección. Finalmente, este aspecto debería mantener un firme criterio de flexibilidad y transparencia.

2. Identificar la suficiente información acerca de la relación entre los indicadores y puntos finales (endpoints), a través de la determinación del efecto o daño en una categoría de impacto para las categorías de impacto de los denominados endpoints.
3. Establecer factores de ponderación (comparación) haciendo uso de funciones de daño o efecto relacionadas con las categorías de impacto elegidas, que permitan identificar lo específico o general (global) de una alteración del área de protección.

2.1.5 Análisis de mejoras.

El análisis de las mejoras en el análisis del ciclo de vida es una evaluación sistemática de las necesidades y oportunidades para reducir las cargas ambientales en todo el ciclo de vida de un producto, proceso o actividad, teniendo en cuenta los objetivos propuestos y alcances reales que se pueden obtener [Hendrickson, 1998].

Finalmente, un aspecto muy importante en el ACV, es la base de datos con que se cuente. La obtención de información tal como *emisiones y residuos generados* durante el ciclo de vida de un producto, se ve reflejada en la calidad y cantidad de los datos. La información debe estar relacionada con aspectos tales como *procesos productivos, requerimientos de materias primas y energía*.

De la misma manera, es necesaria información relacionada con la forma como un producto será utilizado y como se dispondrá al final de su vida. Un aspecto muy importante en la utilización de las bases de datos, tiene que ver con el hecho de que en algunas ocasiones esta información es de carácter aproximado, ya que no es posible obtener datos reales [Herrera, 2001].

En la actualidad, es imposible contar con una base de datos que contenga toda la información necesaria de cada proceso específico, por lo que la mayoría de las herramientas cuentan con bases de datos interactivas, que consta de una información básica, pero donde el usuario puede incluir información específica de sus productos o procesos.

2.2 DESTINO Y EXPOSICIÓN DE CONTAMINANTES.

La administración ambiental, las industrias, y el público en general, incrementan su interés en los impactos que sus actividades pueden llegar a generar en sus zonas de influencia, por lo que las normativas cada vez son más sensibles a los aspectos relacionados con el destino de las sustancias que son emitidas por los procesos productivos [Erickson & King, 1999].

La fase de evaluación del destino y exposición de contaminantes consta básicamente de dos partes, la primera de ellas es la evaluación del destino, la cual permite identificar las zonas o medios donde los contaminantes se hallaran después de ser descargados [TGD-CD, 1996].

La evaluación del destino de contaminantes se basa principalmente en el estudio de las relaciones entre las propiedades de las sustancias, el entorno donde son descargados y los mecanismos de transporte y transformación de las sustancias en los diferentes medios [Herrera et al, 2003b].

Por otro lado, la evaluación de la exposición, tiene como objetivo determinar la concentración de la sustancia contaminante en el receptor. Básicamente, la evaluación de la exposición, busca responder al interrogante: ¿Cuál es la concentración de contaminantes a la que podrían exponerse los receptores? La respuesta a esta pregunta es vital para analizar los posibles efectos a los cuales puedan estar sometidas las áreas de protección que se hayan definido.

2.2.1 Evaluación del destino

En la sociedad actual, la preocupación ambiental se está orientando hacia el conocimiento del destino final de las sustancias químicas y sus componentes [Zilberman D, 2001]. Respondiendo a esta preocupación, agencias y gobiernos alrededor de todo el mundo, están requiriendo la identificación del destino medioambiental de las sustancias químicas, fabricadas o utilizadas en los procesos productivos, que pueden ser descargadas a los diferentes medios [Comisión Europea, 1996].

Si la información acerca de destino de la sustancia no está disponible o es incompleta, será más difícil comercializar los productos que contienen estas sustancias, puesto que los clientes potenciales, buscarán alternativas que presenten una descripción de destino más favorable o la designada por el ente regulador. Por ejemplo, cualquier sustancia que contenga materiales y características físicas que sugieran una propiedad persistente, bioacumulativa o un perfil tóxico, pueden estar sujetas a uso restringidos o a regulación adicional.

La evaluación del destino medioambiental debe ser considerada cuando cualquier producto nuevo o modificación de un producto está bajo desarrollo. Esta evaluación puede ser parte de un análisis de ciclo de vida, donde el destino de todos los materiales usados en el proceso industrial es determinado, o puede ser un estudio especializado en el uso y destino al final de la vida útil del producto fabricado. Por ejemplo, cualquier producto que se descargará finalmente a un vertedero necesita una evaluación de su destino final. Una evaluación del destino sigue los siguientes pasos:

- ✓ Caracterización del lugar de la descarga.
- ✓ Perfil de caracterización fisicoquímica de la sustancia
- ✓ Medición de propiedades fisicoquímicas en campo y laboratorio.
- ✓ Revisión de datos existentes del destino por ejemplo, predicción de las velocidades de biodegradación, trayectos, y productos finales
- ✓ Revisión del plan para la mejora de los datos faltantes de laboratorio y/o campo
- ✓ Aplicaciones de Modelos para lugares específicos

En la valoración de efectos (impactos o riesgos), el estudio del transporte y destino de los contaminantes juega un papel muy importante puesto que a través de estos es posible determinar las concentraciones en las áreas de exposición.

2.2.2 Evaluación de la exposición.

El proceso de evaluación de la exposición de contaminantes consta de varios aspectos, los cuales dependen entre otras cosas del tipo de efecto que tenga lugar [US-EPA, 1992]. Los principales aspectos son:

- ✓ Características de la fuente de descarga (medio de descarga, concentración de la sustancia contaminante)
- ✓ Distribución actual de la sustancia (localización o destino)
- ✓ Trayectos y mecanismos de transporte (físicos y/o biológicos)
- ✓ Destino
- ✓ Exposición o dosis estimada del receptor

Existen seis principales medios que pueden verse afectados por la descarga de sustancias contaminantes. Estos medios, los mecanismos de descarga y las principales fuentes, se observan en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1 Receptores, mecanismos y fuentes de emisión de contaminantes.

Medio receptor	Mecanismos de emisión	Fuente de la emisión
Aire	Volatilización Emisiones fugitivas	Residuos superficiales, derrames Agua superficial contaminada Suelo superficial contaminado Humedales contaminados Suelo superficial contaminado Baterías mal dispuestas
Agua superficial	Escorrentía de la superficie Flujos puntuales Filtración agua subterránea	Suelo superficial contaminado Inundación de lagunas Derrames Agua subterránea contaminada
Agua Subterránea	Lixiviación	Vertederos Suelos contaminados
Suelo	Lixiviación Escorrentía de la superficie Flujos puntuales Deposición	Vertederos Suelos contaminados Inundaciones Derramamientos
Sedimento	Flujos por tierra (puntuales) Filtración por aguas subterráneas Lixiviación	Residuos expuestos en la superficie Suelo contaminado Agua subterránea contaminada Vertederos
Biota	Ingestión, contacto e inhalación	Suelo contaminado agua superficial o subterránea sedimento, aguas o aire

Fuente: Agencia de protección ambiental de Estados Unidos (US-EPA), 2001.

Los mecanismos de exposición dependen del receptor o área de protección en estudio. A continuación, se describen brevemente dos mecanismos típicos de exposición:

Biota acuática, probablemente será expuesta a los contaminantes a través del contacto directo con el agua o a través de la ingestión de agua superficial, sedimento, y alimento contaminado. En sistemas acuáticos, los organismos están expuestos a las concentraciones de contaminantes en los medios donde habitan. Por otro lado, el ecosistema terrestre puede ser también expuesto a través de la ingestión de agua superficial, suelo y alimentos contaminados.

Animales terrestres, pueden estar expuestos a través de la ingestión de agua superficial o alimentos contaminados. La cantidad que dichos organismos pueden asimilar, es lo que se conoce generalmente como *dosis*. Estos alimentos incluyen plantas que pueden contener contaminantes provenientes del agua superficial, subterránea, suelo, o aire. El agua superficial, el sedimento, el suelo, y los mamíferos pueden por consiguiente ser considerados como medios de comunicación de la exposición.

El agua subterránea y el aire sin embargo, probablemente sólo son importantes como medios de transporte (es decir, transportan los contaminantes a otros medios desde los cuales las sustancias son ingeridas por los organismos).

2.3 EVALUACIÓN DEL RIESGO AMBIENTAL (ERA).

En términos generales, el riesgo es la contingencia o proximidad de un daño o efecto nocivo [RAE, 2002]. Bajo esta premisa, la evaluación de riesgos es una técnica multidisciplinaria que utiliza conceptos desarrollados en varias ciencias en las que se incluyen a la toxicología, epidemiología, ingeniería, psicología, higiene industrial, seguridad ocupacional, seguridad industrial, evaluación del impacto ambiental [Peña et al, 2001].

En una evaluación de riesgos, pueden definirse riesgos como estadísticamente comprobables o no verificable. Los riesgos estadísticamente comprobables son riesgos para actividades voluntarias o involuntarias que han sido determinados por la observación directa. Estos riesgos pueden compararse entre ellos, pero no deben compararse riesgos verificables y no verificables. [Hammonds et al, 1992].

La evaluación del riesgo ambiental es un proceso para valorar la probabilidad de que efectos -ecológicos y a la salud humana- adversos puedan ocurrir o estén ocurriendo como resultado de la exposición a una o más cargas ambientales. Una de las etapas críticas en el proceso de evaluación de riesgos ambientales, es la definición de los aspectos ambientales que se deben seleccionar para la evaluación. Estos aspectos cambian a menudo, debido a la diversidad notable de especies, de comunidades ecológicas, y de las funciones ecológicas involucradas en la evaluación del riesgo, lo cual puede generar ambigüedad con respecto a la definición de lo que debe ser protegido [US-EPA, 1992].

La Evaluación o análisis de riesgos, es un proceso que permite valorar el grado y la probabilidad de que existan efectos a la salud humana y al medio ambiente debido a cargas tales como la contaminación o pérdida del hábitat y recursos naturales. De acuerdo con la Academia Nacional de Ciencias [NAS, 1994; TGD-CD, 1996], el proceso de evaluación de riesgos consta de los siguientes pasos:

- ✓ Evaluación de la exposición: en donde se describen las poblaciones o ecosistemas expuestos a las cargas, la magnitud, duración, y la magnitud espacial de la exposición.
- ✓ Identificación del efecto/riesgo/peligro: identificando efectos adversos (ejemplo, enfermedad a corto plazo, cáncer, etcétera) que puedan ocurrir con la exposición a las cargas medioambientales.
- ✓ Evaluación de la función dosis-respuesta: Determinando la toxicidad o potencia contaminante de las cargas.
- ✓ Caracterización del riesgo: Usando los datos coleccionados en los primeros tres pasos para estimar y describir los efectos a la salud humana o la exposición ecológica a dichas cargas.

Así mismo, la gestión del riesgo (Risk Management), permite la administración de los riesgos, de manera que estos sean tratados o reducidos, con base no solo en los resultados de la evaluación, sino también de otros factores (Salud pública y factores sociales y económicos). Las opciones de la gestión del riesgo, incluyen prevención de la contaminación o tecnologías de control para reducir o eliminar los contaminantes u otras cargas ambientales. Los impactos ambientales o a la salud pública identificados deben servir de soporte en las decisiones tomadas en la gestión del riesgo, para el planteamiento de mejoras.

Con base en estas consideraciones, la evaluación de riesgos analiza dos elementos básicos, *la exposición*, que es la interacción de las cargas con los receptores (medidas de exposición que pueden incluir la concentración de contaminantes o cambios físicos en un hábitat), y *los efectos*, los cuales evalúan tanto cambios en la naturaleza y magnitud de los efectos como en la exposición. La integración de la información acerca de la exposición y de los efectos lleva a una estimación del riesgo, y a la predicción de los efectos adversos que resultarán de la exposición.

Los enfoques existentes para evaluar la exposición y los efectos, incluyen, por ejemplo, medidas de descargas de sustancias, predicción a través de modelos del destino y de efectos de las sustancias químicas aún antes de que ellas se fabriquen, además de probar los efectos de estas sustancias en el laboratorio. La exposición y el efecto, deben ser considerados juntos, porque ambos son muy importantes para la evaluación del riesgo. Cuando el potencial de exposición y efectos es bajo, el riesgo será probablemente bajo, y por lo tanto, cuando los dos son altos, el riesgo será alto. En cualquiera de los enfoques utilizados, el objetivo es usar toda la información disponible para caracterizar la exposición y efectos e integrarlos en una comprensión de riesgos ecológicos.

Debido a la complejidad de los receptores en la naturaleza, la valoración de riesgo incluirá algún grado de incertidumbre [Hertwich et al, 1999]. Aunque es posible reducir algunos componentes de la incertidumbre recogiendo datos adicionales, solo podemos estimar algunos componentes debido a su variabilidad inherente (como lluvia y variaciones de temperatura). Por lo tanto, es importante que los administradores de riesgos entiendan cual es el efecto de la

variabilidad e incertidumbre en las conclusiones de la evaluación del riesgo. Porque la toma de decisiones en la gestión del riesgo, no está exenta de incertidumbre y, de hecho, es necesario hacer un esfuerzo para cuantificar y comunicar la incertidumbre en los informes de evaluación de riesgos ambientales.

2.3.1 Evaluación de Riesgos a la salud humana (ERSH)

La evaluación del riesgo a la salud humana, se basa en la estimación de la incidencia de una sustancia tóxica en un sitio determinado, debida a la cantidad de sustancia que entra en contacto con la población en estudio y las condiciones en las que se da este contacto [Peña et al, 2001].

Una ERSH consiste en determinar si es tolerable el riesgo que enfrenta una población por estar expuesta a tóxicos en un sitio contaminado. La determinación y caracterización de los riesgos para la salud humana se lleva a cabo en cuatro pasos:

- ✓ *Análisis de los datos.*
- ✓ *Evaluación de la Exposición.*
- ✓ *Evaluación de la toxicidad.*
- ✓ *Caracterización de los riesgos.*

2.3.2 Evaluación de Riesgos Ecológicos (ERE)

La evaluación de riesgos ecológicos es una práctica que permite determinar la naturaleza y probabilidad de efectos de las actividades humanas en los recursos naturales y ecosistemas.

La evaluación de riesgos ecológicos ayuda a organizar la información y contribuye a la toma de decisiones [Freedman, 1989]. Una ERE, es una herramienta útil para la gestión del riesgo que facilita los siguientes aspectos:

- ✓ Destaca los riesgos de mayor importancia, lo cual es útil para asignar los recursos necesarios.
- ✓ Permite a los tomadores de decisión responder a la pregunta "Que pasa si?", con respecto a las consecuencias potenciales de sus acciones en la gestión.
- ✓ Facilita la identificación explícita de preocupaciones medioambientales.
- ✓ Identifica los aspectos críticos, por lo que permite priorizar la investigación futura.

La evaluación de riesgos ecológicos es útil para evaluar beneficios relativos de las opciones de limpieza en sitios utilizados para verter desechos peligrosos, para mostrar a priori nuevas sustancias antes de su producción comercial, en la valoración de los riesgos de productos agrícolas importados, o para determinar las amenazas a los recursos ecológicos acuáticos.

La evaluación de riesgos ecológicos incluye los siguientes aspectos:

- ✓ Formulación del problema: Definición clara de la problemática.
- ✓ Análisis: caracterizando potencial o exposición existente a las cargas ambientales y sus efectos.
- ✓ Caracterización del riesgo: integración y evaluación de la exposición e información de efectos.
- ✓ La concepción de la evaluación con el gestor del riesgo y la comunicación de los riesgos a los tomadores de decisiones.

La necesidad de separar la evaluación del riesgo en humanos y ecológicos, se debe a la mayor capacidad de recepción de sustancias contaminantes en el entorno y su mayor sensibilidad a los mismos [Khanh T, 1996; Köllner T, 1999]. En otras palabras porque las actividades de protección a la salud humana, no necesariamente protegen a los recursos ecológicos.

2.4 EVALUACIÓN DE DAÑO AMBIENTAL

La evaluación del daño ambiental (EDA), es el proceso de identificación y medición de los daños y perjuicios a los sistemas naturales con el propósito de compensar a la sociedad por la reducción en el valor de recursos naturales que ocurren por las acciones de otros [MacDonald et al, 2000].

La EDA ha sido una reciente tarea en países donde existe legislación que obliga a la identificación del daño en recursos naturales, y se emprende para establecer la magnitud de la obligación causada por daños de la partes involucradas. La economía ambiental parece jugar un papel cada vez más amplio e importante en la evaluación del daño, especialmente en la evaluación no basada en precios de mercado.

Una EDA que involucre descargas de sustancias peligrosas al ambiente sigue tres etapas básicas [DARP, 2003]:

- Determinación de la carga
- Cuantificación de efectos, y
- Determinación de daños

La determinación de la carga, relaciona la incidencia ambiental con la sustancia emitida y cuantificada en el inventario. La estimación de efectos determina en términos físicos la reducción en servicios de los recursos naturales; y la determinación de daño involucra una valoración del daño en términos cuantificables. Excepto en el caso de valoración de daños a la

salud humana y en sistemas naturales, muy difíciles de evaluar económicamente como cambio climático, destrucción de la capa de ozono, o no evaluables como pérdida de biodiversidad [Sonneman G, 2002].

La evaluación del daño de un sistema ambiental necesariamente involucra la medida de cambios en los valores económicos de los flujos de recursos y servicios medioambientales dañados por un incidente de contaminación. Mientras algunos de los flujos de servicio de los sistemas naturales están vinculados directa o indirectamente con los flujos de mercados, muchos otros no son regulados propiamente por mercados debido a las externalidades y sus características de “bienes públicos”. La necesidad de medir valores económicos de servicios ambientales se ha incrementado por la falla de los mercados de localizarlos y asignarles correctamente un precio.

El valor económico de un sistema natural corresponde a la suma de los valores actuales descontando los flujos totales de los servicios provistos por dicho sistema [Bockstael et al, 2000]. Los valores económicos son valores que reflejan el bienestar de un individuo, los cuales dependen del consumo no solo de los bienes comerciales y no comerciales, sino también de los flujos de servicios del sistema, tales como salud, paisaje y recreación. Estos valores se expresan en medidas de voluntad para pagar o voluntad para aceptar compensación. [Carson, 2000].

La aplicación de la de evaluación económica total (Total Economic Value, TEV), como estructura conceptual es muy útil en la determinación del daño. El valor económico de un recurso ambiental puede dividirse en dos componentes del valor: valores del uso y del no uso [Letson, 2002]. Los valores de uso pueden ser además divididos en uso directo –o de consumo-, indirecto, y opcional. Los valores de no uso son aquellos recursos a los que la sociedad simplemente les concede un valor para su existencia tales como la protección de especies en peligro de extinción.

Estimar los valores económicos de servicios ambientales requiere la aplicación de métodos de valoración directos e indirectos. En la literatura, se presentan varios métodos de evaluación y el método a usar dependerá de si los datos observados se derivan de una situación real o hipotética y si el método genera valores monetarios directamente o indirectamente [Carson, 2000]. Field (1995), clasificó técnicas de valoración en “*generalmente aplicable*” (es decir, cambios en productividad, costo de enfermedad, coste de oportunidad); “*selectivamente aplicable*” (Costes de viaje, valoración contingente); y “*potencialmente aplicable*” (métodos hedónicos). Esta clasificación refleja la consideración práctica de la posibilidad de medir los cambios deseados en servicios medioambientales.

Valoración contingente. La valoración contingente como un enfoque para estimar la relación coste-beneficio, involucra la solicitud de las respuestas a las preguntas hipotéticas con respecto

al valor que las personas le otorgan al bienestar ambiental. Las preguntas hipotéticas normalmente usadas piden el valor que las personas ponen a un cambio específico de bienestar medioambiental o el valor máximo que ellos están dispuestos a pagar para que dicho cambio ocurra [Carson, 2000].

Otro tipo de pregunta, es acerca de cuanto están dispuestos a recibir como indemnización o compensación por aceptar o soportar un riesgo o malestar ambiental. Las dos preguntas miden voluntad de pagar (Willingness To Pay. WTP) y voluntad de aceptar compensación (Willingness To accept Compensation. WAC).

La literatura en valoración contingente enfatiza la necesidad de dirigir estudios propiamente planeados para eliminar la incertidumbre inherente en estudios hipotético o tipo contingente.

Costes de viaje. El método de costes de viaje, el cual es extensivamente utilizado en la evaluación de bienes y servicios para recreación, requiere datos de lo observado por las personas que visitan un sitio recreativo. De estos datos, es posible derivar una relación de la demanda para el uso del sitio. Sin embargo, el valor de cambios en la calidad de un sitio recreativo o cambios en la calidad del flujo de servicios recreativos se mide mejor a través de una variante de los costes de viaje, el modelo de “utilidad aleatoria” que hace un mejor trabajo al identificar las características del sitio que influyen en las decisiones sobre si tener actividades de recreación y la elección del sitio a visitar.

Valor Hedónico. El enfoque de valor hedónico permite apreciar los cambios en el valor de la propiedad como una medida del daño por contaminación. El método es un enfoque sustituto de los “precios de mercado” y asume que los compradores revelan su actitud ante un grupo de características, en los cuales incluyen el bienestar ambiental, debido a su voluntad a pagar [Field, 1995].

Este enfoque requiere extensos datos de los precios de venta de propiedades individuales así como en sus características físicas (ubicación tamaño, distancia a una zona de disfrute ambiental).

Análisis coste-beneficio. Las decisiones requieren información y, aunque la disponibilidad de información apropiada no significa en forma automática que las decisiones sean buenas, su falta de disponibilidad casi siempre contribuirá a tomar decisiones erróneas. Existe una variedad de estructuras con el fin de generar y presentar información útil para los diseñadores de políticas, lo cual exige diferentes habilidades y procesos de investigación.

El análisis de costes ambientales puede llevarse a cabo en diferentes niveles [Field B, 1995]. El más sencillo se concentra en los costes de un programa ambiental para una actividad

específica. La razón para denominar este nivel como el más sencillo es que estos costes usualmente se generan al calcular los costes de una estructura específica, y para la cual, lo que está por fuera de sus fronteras permanece constante.

En el siguiente nivel se encuentran los costes para una actividad industrial, cadena productiva, o para una región, que se generan con el cumplimiento de las regulaciones ambientales o la adopción de ciertas tecnologías. En este caso ya no se puede depender de simples hipótesis de ingeniería. Se deben por lo tanto realizar actividades tales como la predicción con una precisión razonable de la manera como responderá la cadena productiva al cambio en la legislación. En un nivel aún superior, el interés se concentra en los costes totales de una actividad productiva.

Los costes de oportunidad son los costes de la oportunidad de utilizar recursos (insumos), a los cuales la sociedad tendría que renunciar cuando estos recursos se utilizan en otra forma específica. Los costes de oportunidad más usualmente estudiados son los costes ambientales, los de mejoramiento sin costes en la calidad ambiental y los costes de ejecución de leyes. Los costes más fáciles de visualizar son los costes de instalaciones individuales, los costes de regulaciones a escala local o industrial.

Finalmente, se llega al nivel global o escala nacional, en donde el interés se centra en la determinación de la carga de costes macro-económicos ocasionados por las regulaciones ambientales impuestas en un determinado periodo.

La medición de los beneficios de las mejoras en la calidad ambiental consta a su vez de diferentes niveles de detalle. Estos niveles cubren diferentes necesidades de información y van desde la medición directa de los daños y el posterior cálculo del beneficio de evitar ese daño, hasta el cálculo de la voluntad para pagar.

La medición directa de los daños sigue los pasos de una evaluación de efectos, es decir, es necesario medir las emisiones, determinar el destino, calcular el grado de la exposición, medir los impactos y finalmente calcular los costes de tales impactos. Los daños se clasifican en daños a la salud humana, ecológicos y otros daños, que incluyen daños a instalaciones o edificaciones (lo que generalmente se conoce como ambiente hecho por el hombre).

La disponibilidad a pagar se puede calcular a través de métodos directos e indirectos, los cuales determinan los costes de prevención y en algunas ocasiones el valor de la vida humana expresada en tasas salariales.

2.5 ANÁLISIS DE PROCESOS

El análisis de procesos, es una actividad que incluye actividades no sólo de evaluación de procesos en funcionamiento, sino también, de diseño de nuevos procesos. Así mismo, en la

actualidad, existen más procesos en funcionamiento que en etapas de diseño [Turton et al, 1998]. En este trabajo de investigación, se aplica el análisis de procesos, desarrollando actividades de diseño y diseño ambiental de procesos.

2.5.1 Diseño de procesos.

Diseñar es inventar un producto, sistema o proceso que cumpla con un conjunto de objetivos. Esto incluye el desarrollo de especificaciones y criterios y así mismo, la síntesis, análisis, construcción, prueba y evaluación de soluciones alternativas. En términos generales, el diseño se basa en la definición de los siguientes aspectos:

- ✓ Descripción de información inicial.
- ✓ Definición del tipo de proceso (por lotes o continuo)
- ✓ Descripción de las entradas y salidas.
- ✓ Reciclos o subproductos.
- ✓ Sistema de separación.
- ✓ Integración energética.

Existen diversas metodologías de diseño, las cuales se basan en los aspectos mencionados anteriormente y en el desarrollo de una serie de etapas que permiten la completa consecución de estos pasos.

El procedimiento de diseño puede estar basado en diferentes niveles de información [Douglas,1988; Korevaaret al 2000], los cuales parten de la definición del tipo de proceso (continuo o por lotes), la estructura de entradas y salidas, la estructura de reciclos y los sistemas de separación.

Nivel 0. Información inicial.

La información inicial o nivel 0, provee información acerca del tipo de reacción que se desarrollará en el proceso, es decir, si existen reacciones primarias o secundarias y cuales son las condiciones de reacción. Así mismo, en este nivel, se da información acerca de la distribución de los productos y los balances a tener en cuenta.

El nivel 0, da información acerca del mercado con que cuenta el producto a producir, en términos de los volúmenes de producción que se deben manejar, el porcentaje de pureza requerido y todos los costes relacionados con la puesta en marcha del proceso.

Este nivel provee también información de las propiedades fisicoquímicas del producto, y en este mismo sentido, información acerca de si es posible usar información experimental.

Nivel 1. Operación de los procesos

En la práctica, los procesos pueden ser continuos (procesos diseñados para operar 24 horas por día, y 7 días por semana), o por lotes (procesos que operan por ciclos de operación). Este nivel permite elegir esta característica, teniendo en cuenta aspectos tales como: flexibilidad del proceso, volúmenes de producción, condiciones del mercado y escalamiento.

Nivel 2. Estructuras de entradas y salidas

Un aspecto fundamental de los procesos es la definición de sus corrientes (entradas/salidas). Esto sólo puede ser definido a través de criterios que incluyen la purificación de las corrientes de entrada, la separación de los reciclados o subproductos reversibles, el uso de corrientes de purga en los reciclados gaseosos, la determinación de las corrientes de salida y la selección de las variables de diseño (conversión, relación de alimentación y cantidades de recuperación entre otras).

Nivel 3. Estructura de los reciclados.

En este nivel, se estudian los sistemas de reacción del proceso y sus interacciones a través de las corrientes de reciclado. Así como, las variables de diseño en el equilibrio, la estructura de los reciclados y en particular, la necesidad de usar compresores.

Los criterios que se deben tener en cuenta son: número de sistemas de reactores y reciclados, necesidad de exceso en alguno de los reactivos, operación térmica del reactor, conversión en el equilibrio y uso de compresores para las corrientes gaseosas.

Nivel 4. Sistemas de separación.

La separación de corrientes en el diseño de procesos, de acuerdo con esta metodología, parte de la determinación de la estructura general del sistema, y termina con una descripción detallada del mismo. Existen dos grandes sistemas de separación: sistema de recuperación de vapor (SRV) y el sistema de separación de líquido (SSL).

Dependiendo del tipo de sistema elegido, se deberán definir características tales como: localización, relación del SRV con el SSL, separación y destino de componentes ligeros que pueden llegar a contaminar el producto y el uso de la destilación como proceso base para los SSL.

Sin embargo, es necesario integrar adecuadamente la información ambiental, puesto que en general, los diseñadores de procesos, nunca son expertos en evaluación ambiental y por lo tanto dependen de la información ambiental que sobre materiales y procesos presentan las herramientas actuales, en las que indudablemente, existe una gran incertidumbre en el uso de esta información. Por ello, es necesario que sean ellos, los diseñadores, quienes definan el tipo, cantidad y calidad de información [UNEP, 2000].

2.5.2 Ecodiseño ó diseño para el medio ambiente.

El Ecodiseño es la consideración sistemática de la función de diseño con respecto a objetivos medioambientales de salud y seguridad a lo largo del ciclo de vida del producto ó del proceso. El DFE debe formar parte de un sistema integrado que sea capaz de proporcionar una guía útil a la hora de decidir sobre el desarrollo de productos de ciclo corto en términos de generación de residuos, deterioro de los ecosistemas y agotamiento de los recursos naturales [Fiksel J, 1999].

Guías para el ecodiseño

El ecodiseño, se basa en una serie de guías prácticas, que permiten hacer del diseño de nuevos procesos o productos, una actividad donde convergen diversos campos del conocimiento. A continuación, se presenta una serie de guías, que en ningún caso intenta ser completa, pero que muestra un amplio espectro de posibilidades.

Diseño para la recuperación y reutilización.

Se fundamenta en los conceptos de *diseño para la recuperación de materiales* y *diseño para la recuperación de componentes*. El concepto parte de la premisa de que siempre es posible recuperar materiales y componentes. Los primeros cuando se asimilan al estado de materia prima del producto y se han tenido en cuenta características como homogeneidad, pureza y la posibilidad de que el material sea reprocesado. Los segundos cuando es posible desensamblar los productos en componentes y estos pueden ser utilizados como piezas individuales o en la elaboración de nuevos productos.

Diseño para el desensamblaje.

El propósito de este concepto es asegurar que un sistema de un producto pueda ser desensamblado con un mínimo esfuerzo económico y de coste. El grado de desensamblaje de una unidad, módulo, o componente, depende no solo de los costes de desensamblaje, separación, inspección, selección y restauración, sino también de su valor de reutilización, reventa o recuperación.

Los conceptos que fundamentan este diseño son: facilitar el *acceso a los componentes*, *simplificar las conexiones* entre los componentes y *diseño* para la simplicidad.

Diseño para la minimización de residuos.

La minimización de residuos se basa en una serie de prácticas que involucran la gestión de los materiales desde el momento mismo de la producción, teniendo en cuenta que si se utilizan menos materiales, habrá menos materiales para desechar.

Esta práctica se basa en los conceptos de: Diseño para la *reducción en la fuente u origen*, Diseño para la *separación*, *Evitar los contaminantes* en los materiales, y *Diseño para la recuperación y reutilización de residuos*, *Diseño para la incineración de residuos*.

Diseño para la conservación de energía.

La conservación de la energía es una de las formas más atractivas de prevención de la contaminación, ya que es fácil de llevar a cabo y los ahorros en los costes son directos. Por lo que es una de las estrategias claves en el DFE. Esta estrategia se basa a su vez, en conceptos que involucran el ciclo de vida de los productos: reducción del uso de la energía en la producción, reducción del consumo de energía eléctrica, reducción del uso de energía en la distribución, uso de formas de energía renovable.

Diseño para la conservación de materiales.

Hasta ahora, se han analizado prácticas de diseño que se basan en la recuperación de materiales una vez estos han sido usados. Esta práctica, busca prevenir la contaminación, a través de la conservación de los materiales antes de que estos entren en el ciclo productivo.

Los conceptos tenidos en cuenta en esta práctica de diseño son: *productos multifuncionales*, *especificación de materiales renovables y reciclables*, *uso de componentes remanufacturados*, *diseño para la longevidad del producto*, *diseño para ciclo cerrado de reciclaje*, *diseño para la recuperación de embalajes*, *diseño para envases reutilizables* y, *desarrollo de programas de alquiler*.

Diseño para la prevención de accidentes.

Tradicionalmente, las técnicas de análisis de riesgos se han aplicado a productos y procesos existentes, con el fin de identificar peligros potenciales, cuantificar su importancia y determinar la manera como podrían mitigarse. El DFE brinda la posibilidad de tener en cuenta estas técnicas durante el diseño de procesos, de manera que puedan ser evaluadas las tecnologías y conceptos de diseño alternativo.

Los conceptos involucrados en esta guía de diseño son: *reemplazo de materiales cáusticos o inflamables*, *utilización de márgenes para la liberación de presión*, *minimización del potencial de fugas* y *utilización de etiquetas con suficiente espacio para advertencias*.

2.6 EVALUACIÓN DEL COSTE TOTAL

La metodología de evaluación del coste total TCA (de sus siglas en Inglés), fue desarrollada en 1991, por el Instituto Tellus en Boston (Massachusetts), el método consiste en identificar y cuantificar los daños potenciales (y los costes que conforman este daño) hacia el medio

ambiente y la salud pública, disminuyendo futuros riesgos y costes contingentes (asociados a responsabilidades potenciales) para un producto, proceso y/o actividad [Instituto Tellus, 1999].

El TCA es un método que compara todos los costes y ventajas relevantes entre las inversiones o los cambios alternativos de un proceso. Los métodos tradicionales comparan diversas alternativas de la inversión usando solamente costes de trabajo y equipo y, más recientemente, costes ambientales tales como la generación de energía. Utilizando el método TCA, el alcance de estos costes ambientales se amplía para incluir costes menos directos y menos tangibles para una visión más completa de las consecuencias para el medio ambiente.

Este método consiste, según lo define el CWRT (Center for Waste Reduction Technologies), en seis etapas más una final de información de los resultados a la compañía [CWRT-AIChE, 1999]. El propósito de las tres primeras es definir claramente qué aspectos del proyecto o de las alternativas son importantes antes de empezar la evaluación completa. Una vez estos tres pasos se han completado, se desarrolla un inventario financiero para cada proyecto o alternativa. Los pasos son los que se detallan a continuación.

1. Definición y alcance del proyecto: identificar y definir claramente el proyecto y el propósito de la evaluación del coste total.
2. Simplificar/Ajustar el análisis: redefinir el primer paso conectando los resultados obtenidos de otros elementos de decisión, como pueden ser la incorporación de los resultados del análisis del ciclo de vida (ACV)
3. Identificar los riesgos potenciales: evaluar la importancia relativa de las categorías de impacto y la viabilidad de recoger datos para estas.
4. Realizar un inventario financiero: clasificar los costes en cinco tipos:
 - ✓ Tipo I: Costes directos. Material, capital de trabajo y los costes de operación y mantenimiento (O&M).
 - ✓ Tipo II: Costes Indirectos. Incluye los *overheads* y los costes que no son debido a los productos o al proceso en general.
 - ✓ Tipo III: Costes contingentes futuros. Asociados a las responsabilidades potenciales, como multas, abogados, daños en accidentes industriales.
 - ✓ Tipo IV: Costes no cuantificables. Costes que paga la compañía aunque no son cuantificables a priori como, cambio en imagen corporativa o moral, corporativa del empleado o relaciones del cliente.
 - ✓ Tipo V: Costes externos. Costes que la compañía no paga directamente como el deterioro del medio ambiente a causa de la polución y que están reguladas por el estado.

Los costes Tipo III-V incorporan la probabilidad, frecuencia y selección del momento de una ocurrencia para todas las categorías de costes importantes, donde los datos relevantes están disponibles.

5. Analizar los datos y realizar la evaluación de impactos: revisar los costes y determinar los grandes contribuidores de cada categoría y como se va a incorporar esta información al proceso.
6. Documentar los resultados: realizar un documento donde se expone toda la información recogida, los resultados para cada objetivo y las decisiones oportunas a realizar.
7. *Retroalimentación a la compañía*: dar conocimiento a la compañía de los resultados finales, ya sean los costes totales, o las opciones que pueden minimizar estos costes. Estas siete etapas quedan reflejadas en la Figura 1.3.

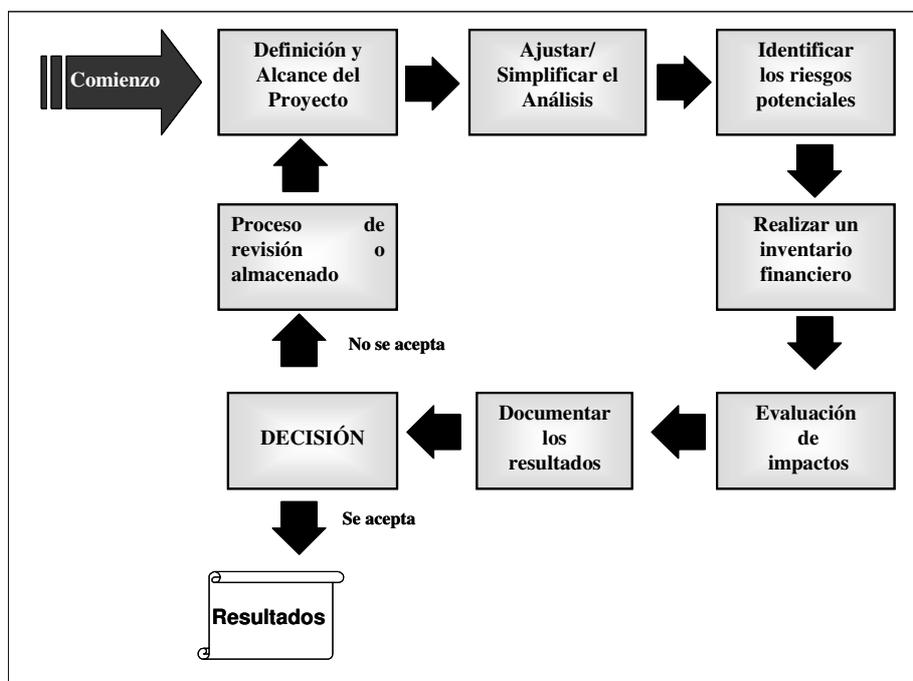


Figura 2.3 Esquema de la metodología del TCA. Desarrollado por AICHE CWRT.

El TCA se ve generalmente como una herramienta dentro del campo más amplio de la contabilidad ambiental. La contabilidad ambiental se asegura de incorporar, en un cierto grado, los costes de las actividades ambientales últimas, presentes y futuras, en las decisiones tomadas por una organización [Causing et al, 1999].

El TCA se diferencia de enfoques convencionales considerando una gama más amplia de los costes que son particularmente aplicables a la prevención de la contaminación. No obstante el TCA tiene una visión de análisis más reducida, que por ejemplo el análisis del ciclo

de vida, porque puede excluir los costes sociales externos para los cuales una compañía no es legalmente responsable ni está financieramente obligada.

El análisis financiero del TCA se diferencia de los análisis convencionales en tres aspectos importantes:

- ✓ Identificando un inventario de costes/beneficios asociado a una evaluación de impactos, incluyendo responsabilidades que no son tomadas en cuenta en un análisis convencional.
- ✓ Asignando los costes en cuentas específicas del proceso y del producto, en lugar de asignarlos a gastos generales.
- ✓ Los indicadores, tales como el valor actual neto (VAN) y la tasa del índice de retorno (TIR), se utilizan en el análisis financiero. Éstos ayudan a identificar el valor presente y futuro del dinero, de los costes y de los ahorros a largo plazo.

Los proyectos implican un número de costes/beneficios que son a menudo difíciles de cuantificar, costes externos y a largo plazo. Estos costes/beneficios son:

- ✓ Los costes de la administración ambiental. Coste de capital de las instalaciones de control y tratamiento de los contaminantes; los costes de operación y mantenimiento; gestión de desechos; prevención del lanzamiento accidental y preparación de la respuesta; seguros.
- ✓ Costes de regulación incluyendo la preparación, el supervisado, la documentación, y la divulgación.
- ✓ Controles de salud y de seguridad de empleado, preparación, documentación, y equipo.
- ✓ Responsabilidades referentes a daños corporales y a daños materiales;
- ✓ Impacto de la imagen corporativa que puede afectar a la cuota de mercado o al valor de las acciones.
- ✓ Capacidad de la producción limitada por requisitos reguladores.
- ✓ Valor de la emisión de créditos industriales/comerciales.
- ✓ Cuota de mercado mejorada debido a productos más seguros, más ecológicos.

Tipos de costes.

Costes tipo I: Costes directos

Son los costes generados directamente debido a la producción.

- ✓ Compra de materias primas.
- ✓ Compra agua de refrigeración.
- ✓ Compra agua desionizada.
- ✓ Potencia eléctrica
- ✓ Mano de obra

- ✓ Equipos de operación
- ✓ Costes de operación y mantenimiento.
- ✓ Material diverso.
- ✓ Capital de trabajo.
- ✓ Catalizador.
- ✓ Formaciones.
- ✓ Terrenos.
- ✓ Dietas.

Costes tipo II: Costes Indirectos

Son los costes que no son debidos a la producción, incluye los *Overheads*.

- ✓ Overheads (Ver Tabla 1.2 [WSDE, 2000])
- ✓ Supervisión.
- ✓ Mantenimiento general planta.
- ✓ Inventario del catalizador.
- ✓ Dirección.
- ✓ Diseño.
- ✓ Gestión
- ✓ Comunicación.
- ✓ Materias adicionales.

En cuanto a los costes considerados como overheads, la Tabla 1.2 muestra algunos ejemplos.

Tabla 2.2 Ejemplos de costes considerados como *Overheads*.

Costes	<i>Siempre como Overheads (%)</i>	<i>Habitualmente como Overheads (%)</i>
Salario directivos	74	23
Salario Técnicos Medioambientales	68	26
Multas Medioambientales	67	24
Comunicados a las agencias gubernamentales	65	28
Seguros	64	26
Permisos	60	29
Controles medioambientales	58	23
Controles residuos tóxicos	58	29
Transporte residuos tóxicos fuera de planta	58	28
Tratamiento de aguas pesadas en planta	57	22
Controles de emisiones aéreas	56	24
Manejo de residuos tóxicos	56	22

Fuente: Washington State Department of Ecology, 2000.

Costes tipo III: son los costes asociados a las responsabilidades potenciales y a la prevención de la contaminación (costes ambientales internos [EEA, 1999])

- ✓ Coste por el tratamiento, recogida de los Residuos Tóxicos y Peligrosos (RTPs).
- ✓ Coste por el tratamiento de descargas hasta el nivel permitido por la legislación.
- ✓ Coste por el consumo de agua.
- ✓ Coste por el consumo de energía.
- ✓ Costes por contaminación de suelos, prevención y el control del nivel de ruidos, consumo de recursos no renovables, generación de residuos asimilables a urbanos.
- ✓ Coste de un seguro medioambiental o coste de un posible accidente.
- ✓ Coste de implantar un Sistema de Gestión Ambiental.
- ✓ Multas.
- ✓ Abogados
- ✓ Daños por accidente industrial.
- ✓ Denuncias.

Costes tipo IV: Costes No Cuantificables

Costes que paga la compañía aunque no son cuantificables a priori

- ✓ Cambios en la imagen corporativa o moral.
- ✓ Relaciones con el cliente (aceptación, lealtad)

Costes tipo V: Costes Externos

Costes que la compañía no paga directamente, y que soporta la sociedad

- ✓ Dispersión de contaminantes, lo que comporta un deterioro del medioambiente (de la salud humana, de los ecosistemas, de los recursos naturales)

2.7 TOMA DE DECISIONES AMBIENTALES

La toma de decisiones es fundamental para cualquier actividad humana. En este sentido, somos todos tomadores de decisiones. Sin embargo, tomar una “buena” decisión empieza con un proceso de razonamiento, constante y focalizado, que incluye muchas disciplinas [Arsham H, 2003].

En los procedimientos de evaluación ambiental, la toma de decisiones es una tarea compleja tanto por la cantidad de información como por la variedad de su uso. Esto genera dificultades a quien toma las decisiones en saber cómo y cuando utilizar toda la información que tiene a disposición, por lo que es necesario clasificarla e integrarla de forma adecuada. Basson

et al (2001) desarrollaron una guía para la toma de decisiones ambientales que involucra no sólo información específica de la actividad estudiada, sino también las áreas involucradas y la calidad de la información utilizada. La estructura del análisis de toma de decisiones, involucra aspectos técnicos, económicos, ambientales y sociales cuando estos son aplicables.

Por otra parte, Schwarz et al (2002) desarrollaron medidas que relacionan el desarrollo ambiental y económico de procesos productivos, como base para la toma de decisiones en procesos sostenibles. Las medidas propuestas por ellos son:

- Intensidad másica y energética de los procesos productivos
- Consumo de agua
- Emisiones tóxicas
- Emisión de sustancias contaminantes

Las medidas, intentan mantener criterios de simplicidad en el uso, posibilidad de ser entendida por diferentes audiencias, reproducibilidad y fortaleza. La Figura 2.4, presenta un diagrama de flujo, del análisis de decisiones propuesto por Basson.

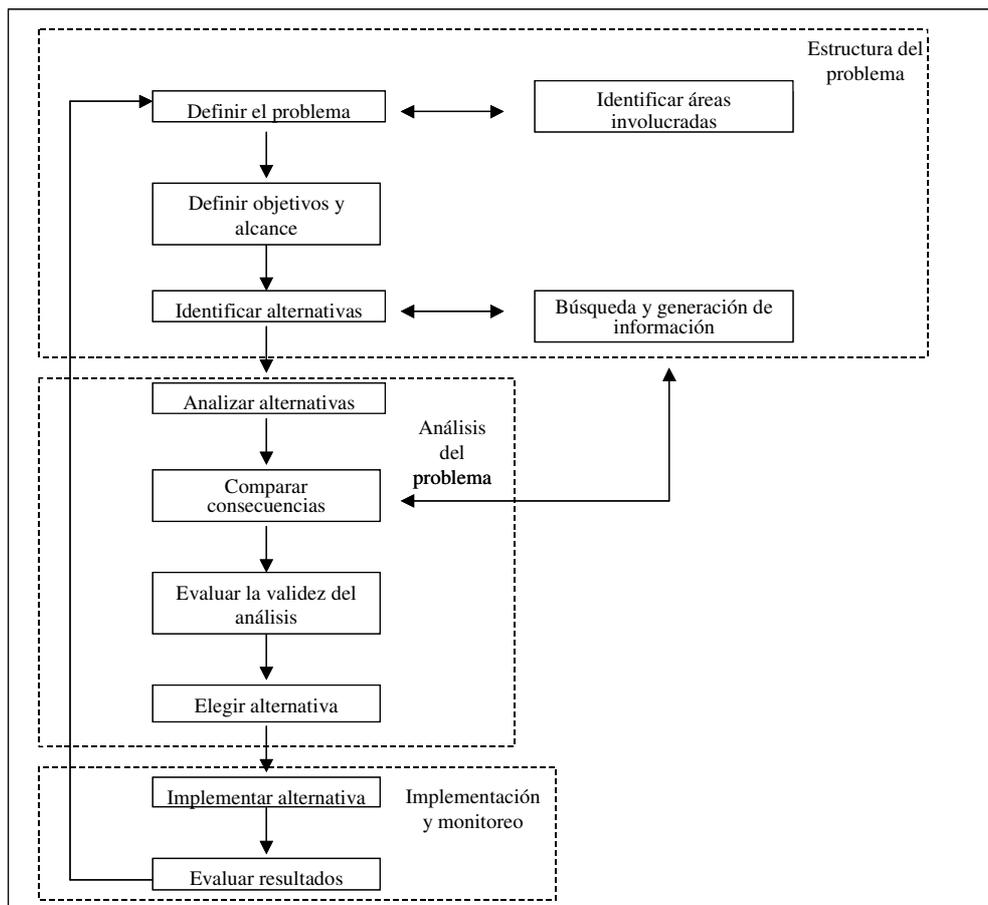


Figura 2.4 Ciclo del análisis de Decisiones. Adaptado de Basson et al, 2001

A continuación se describirá un desarrollo por etapas para el análisis de decisiones, que puede servir de base para la toma de decisiones ambientales.

Determinación del área de estudio.

El área a estudiar o definición del problema consiste en la caracterización de lo que se pretenda estudiar, esto puede ser una actividad industrial, un proceso industrial o una zona factible de sufrir un posible efecto por alguna actividad humana. Para el estudio de sitios, se clasificará según su utilización [US-EPA, 1998]:

- a) residencial
- b) recreacional
- c) industrial
- d) agrícola

Búsqueda y generación de información

La información que permita soportar la toma de decisiones, incluye: propiedades físico químicas de las sustancias relacionadas, constantes de reparto entre los diferentes medios, toxicidad, vida media, etcétera. La información relacionada con las propiedades del entorno (zona de estudios) es también necesaria, y puede ser suministrada por modelos multimedia (aire, suelo, vegetación, seres vivos).

Evaluación de efectos.

La evaluación de efectos está dirigida a tres áreas de protección: salud humana, ecosistemas y recursos naturales. La evaluación de efectos puede hacerse a través de la evaluación de riesgos o impactos.

Análisis de consecuencias.

Las consecuencias se evalúan y comparan de manera que puedan tenerse en cuenta todos los aspectos de interés en el estudio.

Análisis de decisiones.

La estrategia de análisis de decisiones integra la totalidad de la información relevante que está relacionada con el problema propuesto. De acuerdo con esta estructura, el análisis de decisiones comprende tres pasos: 1) estructura del problema, 2) análisis del problema y, 3) implementación y monitoreo de alternativas de solución del problema.

REFERENCIAS

- Arsham H. Toma de decisiones estratégicas acertadas. Ciencia de la Administración Aplicada. (<http://ubmail.ubalt.edu/~harsham/opre640S/Spanish.htm>) (2003)
- Basson L. A roadmap for decision making in different decisions contexts. Proceedings in 6th World congress of chemical engineering. Australia (2001)
- Bockstael N. On measuring economic values for nature. Environ. Sci. Technol, 34, 1384-1389. (2000)
- Carson R. Contingent valuation: A user's guide. Environ. Sci. Technol, 34, 1413-1418. (2000)
- Casamiquelas S., Royo M. Clasificación y caracterización de contaminantes y comparación de alternativas de evaluación del destino. Reporte laboratorio de investigación. Departamento de Ingeniería Química, URV. (2003)
- Castells F. An algorithm for life cycle inventory. AICHE Symposium series on pollution prevention via process and products. (1995)
- Castillo F. Modelo matemático para la evaluación de la agresividad ambiental de sectores industriales Colombianos. Tesis doctoral, Universidad Industrial de Santander, Colombia. (2000)
- Causing M. Analysis of Pollution Prevention Investments Using Total Cost Assessment: A Case Study in the Metal Finishing Industry. Pacific Northwest Pollution Prevention Resource Center. (http://www.pprc.org/pprc/sbap/metalfin/tca_rept.html) (1999)
- Center for Waste Reduction Technologies (CWRT). Total cost assessment methodology. AIChE. (1999)
- Chirs H. Economics Input-Output Models for environmental Life-Cycle Assessment. Environmental. Policy Analysis. Environ. Sci. Technol. 184A-191A. April (1998)
- Damage Assessment and Restoration Program (DARP). Cooperative assessment project (cap) framework. National Oceanic and Atmospheric Administration. (2003)

Douglas J. Conceptual Design of Chemical Processes. McGraw-Hill International Editions, Chemical Engineering Series. (1988)

EC - European Commission Technical Guidance Document (TGD) in Support of the Commission Directive 93/67/EEC on Risk Assessment for New Notified Substances and the Commission Regulation (EC) 1488/94 on Risk Assessment for Existing Substances, Parts I-IV. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg (1996)

Ekvall T. Finnveden G. Allocation in ISO 14041- A critical review. Journal of cleaner production, Vol. 9, pp.197-208. (2001)

Erickson L., King B. Fundamentals of environmental management. John Wiley & Sons, Inc. (1999)

Environmental Protection Agency of United States (US EPA). LCAcces-LCA 101. (2001)

Environmental and health risks of pesticides. Department of Agricultural and Resource Economics (ARE 298/) School of Public Policy. University of California at Berkeley. PP 290. (2001)

European Environmental Agency. EEA. Guidelines for defining and documenting data on costs of possible environmental protection measures.(1999)

European network for strategic life-cycle assessment research and development. Editor-in-chief Walter Klöpffer, (1997)

Field B. Economía ambiental. McGraw-Hill (1995)

Freedman B. Environmental ecology. The impacts of pollution and other stresses on ecosystems structure and function. Academic Press, Inc. San Diego, California. (1989)

Halada K. The next step of inventory analysis as a common language. The Second International Conference on EcoBalance. The new stage of LCA as a common language. November 18 -20, (1996)

Hammonds S. Background Risk Information to Assist in Risk Management Decision Making. (1992)

Herrera I. Kulay L. Castells F. Environmental Damage Assessment Applied to Process Analysis. A Decision Support Alternative. Proceedings of the First Biennial Meeting of the International Environmental Modelling and Software Society. Vol I pp 19-24 (2002)

Herrera I. Integración entre una herramienta ambiental y la simulación de procesos, para su aplicación en el diseño. Memoria proyecto de investigación. Departamento de Ingeniería Química. Universitat Rovira i Virgilil, España. (2001)

Hertwich E., McKone T., Pease W. Parameter Uncertainty and Variability In Evaluative Fate and Exposure Models. Risk Analysis, Vol. 19, No. 6, (1999)

Hertwicht E. A theoretical foundation for LCA. Recognizing the role of values in environmental decision making. Journal of industrial ecology, Vol 4, N° 1. (2000)

Hoagland T. Non-Traditional tools for LCA and Sustainability. Int. J. LCA 6 (2) 110-113 (2001)

Instituto Tellus. (<http://www.tellus.org>) (2003)

International Standard Organisation (ISO). Environmental management-Life cycle assessment-Principles and Framework. Technical standard. (1997)

Jolliet O., Brent A., Goedkoop M., Itsubo N., Mueller-Wenk R., Peña C., Schenk R., Stewart M., Weidema B. LCIA Definition study. Life Cycle Impact Assessment Programme of the Life Cycle Initiative. (2003)

Khanh T. An integrated system for air toxic inventory and risk assessment. Ninth Joint Conference on Applications of Air Pollution Meteorology. (1996)

Kim Seungdo & Dale Bruce E. Allocation procedure in ethanol Production System from Corn Grain. LCA case studies. Int J LCA (2000)

Köllner T. Assessing land-use impacts on ecosystem quality within life-cycle assessments. Presented in 2nd Inter-Regional Conference on Environment-Water. (1999)

Korevaar G. Sustainability in process design methodology. In proceedings 21st annual European AIChE. Hague, (2000)

Letson D. Measuring Environmental Values. Topic 6 of Economics of Natural Resources course. (<http://www.rsmas.miami.edu/divs/maf/courses/maf502/syllabus502.htm>) (2002)

MacDonald K, et al. Application of environmental damage assessment and resource valuation processes in Atlantic Canada. Organization for economic co-operation and development. (2002)

National Academy of Sciences. Science and Judgment in Risk Assessment. Committee on Risk Assessment of Hazardous Air Pollutants, National Research Council D0-309-07490-8. Pp. 672. (1994)

Norris G. Estimating the value of life cycle assessment. Proceedings of the First International conference on life cycle management, Copenhagen. pp 157-162. (2000)

Peña C. Toxicología Ambiental: Evaluación de Riesgos y Restauración Ambiental. Distributed on the Internet via the Southwest Hazardous Waste Program website at <http://superfund.pharmacy.arizona.edu/toxamb/>. (2001)

Real Academia Española. (<http://www.rae.es>). (2003)

Scharwarz J. Use sustainability metrics to guide decision-making. Chemical Engineering Progress. July (2002)

Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC-Europe) Europe News, Streamlining or Simplifying Life Cycle Assessment. Vol 10, issue 4. (1999)

Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC). Life-Cycle Impact Assessment: The state-of-the-art. Second edition. (1998)

Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC). Guidelines for life cycle assessment –A code of practice. Sesimbra/Portugal, SETAC workshop report. (1993)

Sonnemann G., Schuhmacher M., Castells F. “Framework for the Environmental Damage assessment of an Industrial Process Chain”, Journal of Hazardous Materials, vol 77, pp 91-106, (2000)

Trinius W., Borg M. Influence of Life cycle allocation and valuation on LCA results. Journal of low energy and sustainable buildings, Vol. 1 (1999)

Turton R., Bailie R., Whiting W., Shaeiwitz J. Analysis Synthesis, and Design of Chemical Processes. Prentice Hall. (1998)

Unep-Setac Initiative. Background paper of the UNEP/SETAC Life Cycle Initiative. Unep, DTIE, Paris. (2001)

United Nation Environmental Program (UNEP). Evaluation of environmental impacts in life cycle assessment. Meeting report. Brussels, 1998. Brighton, (2000)

US-EPA. Guidelines for Ecological Risk Assessment (EPA/630/R-95/002F). (1998)

US-EPA. Framework for identifying optimal allocations.

<http://www.epa.gov/waterscience/models/allocation/framework.htm>.

US-EPA. Framework for ecological risk assessment (630/R-92/001). Risk Assessment Forum, Washington, DC, 50 pp. (1992)

Washington State Department of Ecology. Hazardous Waste and Toxics Reduction Program. "Seminar Notes for Total Cost Assessment". Publication Number 00-04-008. (2000)

Werner Frank & Ritcher Klaus. Economic allocation in LCA: A case study about aluminium windows frames. Int. J. LCA 5 (2) 79-83. (2000)

Wenzel H. Environmental assessment of products. Vol 1: Methodology, tools and case studies in product development. Chapman & Hall. (1997)

3. DESARROLLO, EVOLUCIÓN Y APLICACIÓN DE METODOS EXISTENTES.

El capítulo actual presenta una breve descripción del desarrollo y evolución de los métodos de evaluación ambiental y análisis de procesos estudiados durante el transcurso de esta investigación, así como los aspectos que posibilitan su aplicación en la metodología que se propone.

En la primera parte del capítulo se hace una revisión crítica de los diferentes métodos de *evaluación ambiental* para determinar sus fortalezas y los aspectos que deben ser mejorados para su aplicación. La siguiente fase en esta primera parte, consiste en el planteamiento de una nueva forma de evaluación ambiental en las actividades industriales, que permita involucrar los aspectos más relevantes del análisis de procesos para su integración.

En la segunda parte, se propone la estructura de la metodología para la toma de decisiones en el análisis y evaluación de procesos, a partir de la revisión de diferentes enfoques de análisis y diseño de procesos y con base en los criterios definidos por la evaluación ambiental anteriormente definida. Esta nueva metodología de toma de decisiones, permitirá no sólo involucrar los aspectos ambientales en diferentes niveles de detalle (información), sino también, para las diferentes etapas en la definición del proceso.

3.1 EVALUACIÓN AMBIENTAL

La evaluación ambiental es una herramienta metodológica que permite hacer un análisis de las actividades humanas (entre ellas las industriales), al valorar su incidencia ambiental. La evaluación ambiental se basa en la descripción de los efectos y/o daños que pueden darse sobre áreas de protección definidas (salud humana, ecosistemas y recursos naturales), en diferentes medios (o compartimentos) tales como aire, agua, suelo, sedimentos y biota.

Los efectos pueden ser determinados a través de la cuantificación de la descarga de sustancias nocivas y la evaluación de su concentración en los diferentes medios de destino.

En los capítulos anteriores, se ha presentado y descrito la evaluación de ciclo de vida, como metodología de evaluación ambiental de procesos, productos o servicios, no obstante, existen diversas metodologías y herramientas que permiten evaluar el comportamiento ambiental de actividades industriales aplicando diversas técnicas y tipos de información. A continuación se presenta una breve descripción de diferentes tipos de evaluación ambiental, partiendo de una evaluación estándar del impacto, hasta el planteamiento de diferentes niveles de detalle en la valoración del comportamiento ambiental.

3.1.1 Evaluación del impacto ambiental

Aunque la evaluación ambiental es más un enfoque general que un método específico, la evaluación del impacto ambiental se presenta como una herramienta efectiva para asegurar el desarrollo sostenible [Sinha, 1998].

La evaluación ambiental presenta diversas orientaciones y prácticas de aplicación, en este sentido, el proceso de evaluación del impacto ambiental adoptado por instituciones tales como el Banco Mundial, la agencia de protección ambiental de Estados Unidos o la agencia Europea del medio ambiente, coinciden en que debe ser un proceso flexible, en el cual se introducen las consideraciones ambientales de manera integral, y donde los temas ambientales deben ser expresamente tratados e incorporados bajo una perspectiva de análisis coste-beneficio durante la preparación e implementación del estudio, proyecto o proceso. En términos generales, dicho procedimiento sigue las siguientes etapas.

Etapas 1: Calificación preliminar (screening). El procedimiento inicia con la identificación de la actividad a desarrollar, en esta etapa se determina la naturaleza y magnitud de los impactos ambientales potenciales y se asignan en una categoría específica de evaluación [EEA, 2001]. A continuación, se presentan las categorías de evaluación y sus principales características.

CATEGORÍA A: Se requiere una evaluación ambiental completa.

CATEGORÍA B. En esta categoría a pesar de no requerirse una evaluación ambiental completa, se exige un análisis ambiental.

CATEGORÍA C: No se requiere análisis ambiental. Los impactos son mínimos, y se involucran proyectos tales como educación, planificación familiar, salud, etcétera.

Etapa 2: Alcances y desarrollo de términos de referencia. Una vez que el proyecto ha sido clasificado por categorías, se realiza un proceso de análisis general para identificar los elementos centrales para desarrollar términos de referencia (TBR) para la evaluación ambiental.

Etapa 3: Preparación del documento de evaluación de impacto ambiental. Cuando el proyecto es clasificado en la categoría A, se requiere una evaluación de impacto ambiental completa. La categoría B requiere una evaluación ambiental mucho más limitada. Los principales componentes de una evaluación ambiental completa son:

Resumen ejecutivo.

Descripción del proyecto

Línea base

Evaluación de impactos

Análisis de alternativas. Un tema central en el trabajo de evaluación ambiental consiste en la identificación de alternativas de inversión desde la perspectiva ambiental

Plan de manejo o mitigación. Consiste en el conjunto de medidas que deben tomarse durante la implementación y operación del proyecto para eliminar, anular o reducir los impactos ambientales negativos a niveles aceptables.

Plan de monitoreo ambiental. Este plan especifica la naturaleza del monitoreo, quién, qué y cómo lo hará, juntamente con los insumos que se requerirán.

Consulta pública. La consulta con las comunidades afectadas resulta clave para la identificación de los impactos y el diseño de las medidas de mitigación.

Etapa 4: Revisión de la EIA y evaluación del proyecto. Una vez que el borrador de la EIA está completo, se realiza la revisión por parte de los especialistas. Si resulta satisfactorio, el grupo de proyecto es autorizado para continuar con la evaluación del proyecto. Existe todo un procedimiento para hacer que los temas realmente se traten, se incorporen dentro del proyecto y se desarrollen todos los arreglos de financiamiento, institucionales, etc. para cumplir con las recomendaciones del informe del EIA.

Etapa 5: Implantación del proyecto. Cuando el EIA está aprobado, se puede dar inicio a la implantación del proyecto. A partir de entonces, es necesario la aplicación del análisis de decisiones, de manera que se tengan en cuenta los diferentes criterios involucrados en el proyecto.

Por otra parte, la evaluación del impacto ambiental se concreta en dos documentos: el estudio de impacto ambiental y la declaración de impacto [Riera, 2000]. El contenido de la declaración de impacto ambiental, generalmente es el siguiente:

Descripción del estudio

Examen de alternativas

Inventario

Identificación, valoración y evaluación

Medidas protectoras y correctoras

Resumen

3.1.2 Evaluación ambiental de procesos industriales

La evaluación de procesos industriales y de cadenas productivas muestra una tendencia creciente en el ámbito de la evaluación ambiental, enfoques tales como *Producción Limpia*, o *Cero emisiones*, reflejan la tendencia hacia una orientación holística del análisis ambiental, la importancia de involucrar todas las etapas en una cadena productiva, y la incidencia de todas y cada una de ellas en su entorno.

La evaluación ambiental de productos o procesos productivos, ha sido estudiada por diversos autores, [Pedersen, 1993; Hertwich, 2001; Sonneman, 2002;] quienes han propuesto metodologías de evaluación ambiental basadas en el análisis de ciclo de vida. Para Pedersen, la evaluación ambiental de productos consiste en el desarrollo de tres aspectos: análisis del inventario, evaluación del impacto y evaluación de mejoras cuando se identifiquen impactos negativos. Así mismo, los criterios de calidad para la evaluación ambiental de productos, propuestos por Pedersen (1993), se basan en el desarrollo de seis etapas:

- Planificación
- Ejecución preliminar y ajuste del plan
- Colección y tratamiento de datos
- Evaluación del impacto
- Ajuste de alternativas y,
- Repetición de las fases 3 a 5 (retroalimentación).

Hauschild & Pennintong (2000) por su parte, propusieron una metodología de evaluación ambiental de productos en donde la fortaleza de su trabajo se basa en la cuantificación de impactos potenciales a partir de las cargas ambientales (emisiones) y los factores de equivalencia para diferentes categorías de impacto, así como en la aplicación de consideraciones específicas de un sitio (site-specific), que involucran la evaluación de la exposición de una sustancia en un entorno determinado. Según su metodología, la evaluación ambiental de productos o procesos industriales, revela la necesidad imperante de incluir la evaluación de la

exposición, de manera que pueda conocerse la verdadera relación entre una carga ambiental y el efecto generado sobre un área de protección determinada.

En cuanto a cadenas de procesos Soneman (2002), propuso una estimación de los daños ambientales generados por las cadenas productivas, a través de una metodología orientada a las emisiones de contaminantes y los daños causados por ellas, evaluando el trayecto de las sustancias descargadas y el aumento de la concentración en los sitios de destino. La densidad del receptor depende claramente de características geográficas locales o regionales para las categorías de impacto no-globales.

Partiendo de un inventario de ciclo de vida convencional, la estrategia incluida en esta metodología puede describirse por el desglose de los siguientes pasos:

1. La creación de un algoritmo para considerar aspectos específicos del sitio.
2. Calculo del impacto potencial.
3. Estimación del daño global por indicador de categoría
4. Determinación del trayecto de los contaminantes hasta los compartimentos.
5. Evaluación del destino final y del incremento de la concentración en la región respectiva.
6. Relación de incrementos con curvas de dosis-impacto y receptores
7. Disposición de métodos aceptados para la agregación por ponderación
8. Relación con otras herramientas de gestión ambiental

Como se verá posteriormente, aspectos de la metodología obtenida por Sonneman (2002), han sido aplicados en este trabajo, para el desarrollo de algunos de los niveles en la metodología de evaluación ambiental propuesta.

3.1.3 Evolución de la Inclusión de diferentes niveles en la evaluación ambiental.

Hasta ahora en este capítulo, se ha hecho un recorrido por aspectos diferentes en la evaluación ambiental, el aspecto común en estas prácticas está relacionado con la valoración de los efectos y daños que se generan por una actividad industrial. Sin embargo, las decisiones que se toman en el momento de diseñar tales actividades industriales no deberían estar basadas únicamente en los daños (teniendo en cuenta que prácticamente pueden llegar a ser irreversibles), sino que por el contrario, es necesario involucrar aspectos que permitan comparar antes de predecir o conocer los posibles efectos [Rodríguez et al, 2003]. En este sentido, en el actual apartado, se propone una metodología de evaluación ambiental, dividida en cuatro niveles de detalle.

El primer nivel, o análisis de inventario, permite evaluar el consumo de recursos y las descargas al ambiente identificadas en el proceso o actividad industrial, de manera que –a modo de ejemplo-, en las decisiones respecto a la posible ubicación de la planta se puedan relacionar

aspectos tales como la adquisición de materias primas y tratamientos necesarios para los efluentes. De la misma forma, en este nivel de detalle, es posible identificar o definir algunos de los indicadores de categorías que serán usadas en la posterior evaluación de impactos o daños.

El segundo nivel, se basa en la evaluación del destino de las sustancias emitidas y cuantificadas en el nivel anterior. Este nivel de evaluación, permite desarrollar dos aspectos, por un lado, la identificación de los compartimientos que presentan una mayor concentración de las sustancias emitidas, y por otro lado, y con base en diferentes factores, determinar la exposición a la cual estará sometida la población objeto. La toma de decisiones relacionadas con la posible ubicación de la planta podrá estar soportada en este nivel de la evaluación, con base en la información de la zona y de su sensibilidad a las sustancias y las concentraciones existentes. Así mismo, la utilización de modelos para la determinación del destino en los diferentes compartimientos es indispensable.

El tercer nivel, o la evaluación de efectos, está orientado a la descripción de los riesgos predecibles y los impactos cuantificables, con base en la información provista por los dos niveles de evaluación descritos anteriormente.

La evaluación de riesgos ambientales, se basa en la predicción de posibles efectos en las diferentes áreas de protección, y se calcula a partir de la relación entre la concentración de las sustancias en los compartimientos (Concentración Ambiental Predicha o Predicted Environmental Concentration. PEC) y la concentración para la cual no existe un efecto identificado (Concentración Ambiental Predicha de No Efecto o Predicted No-Effect Concentration. PNEC).

Por su parte, los impactos son descritos en dos vías, inicialmente se predicen los impactos potenciales (aplicando la metodología descrita por Hauschild) y posteriormente los impactos específicos de un sitio (o impactos reales), los cuales pueden ser calculados a partir de la concentración de las sustancias en los diferentes compartimientos y de correlaciones entre una dosis o exposición y la respuesta en la población objeto. Las decisiones tomadas en este nivel de evaluación, están entonces soportadas por una mayor cantidad y calidad de información.

La estimación de daños, es la última etapa de la evaluación ambiental, en este nivel, se cuantifican los daños generados sobre la salud humana, los recursos naturales y los ecosistemas. En términos de salud humana se han realizado muchos estudios, a través de los cuales, se ha cuantificado el daño ambiental en términos monetarios por pérdida de calidad de vida, de bienestar, y de la vida misma. Sin embargo, los daños relacionados con los recursos naturales y sobretodo con los ecosistemas, no han sido descritos con la misma intensidad, y esto se debe en la mayoría de los casos, a la falta de información acerca de la respuesta de estas áreas de protección a las cargas ambientales a la que se encuentran expuestos.

Finalmente, el hecho de soportar la toma de decisiones en la información del inventario, del destino de sustancias emitidas, de efectos predecibles y finalmente de daños, amplía el abanico

de posibilidades y permite ahorrar no sólo tiempo, si no también dinero en la etapa de análisis y/o diseño de procesos.

Con base en lo anteriormente expuesto, la evaluación ambiental de procesos o actividades industriales, se desarrolla en cuatro diferentes niveles, los cuales se basan en el detalle o la cantidad de información implicada en ellos, estos niveles son:

1. Análisis de inventario
2. Evaluación del destino
3. Análisis/Evaluación de efectos (riesgos e impactos)
4. Estimación de daños.

Los niveles de evaluación son consecutivos, y el desarrollo de cada nivel se basa mayoritariamente en la información del nivel anterior, como se puede ver en el diagrama adjunto.

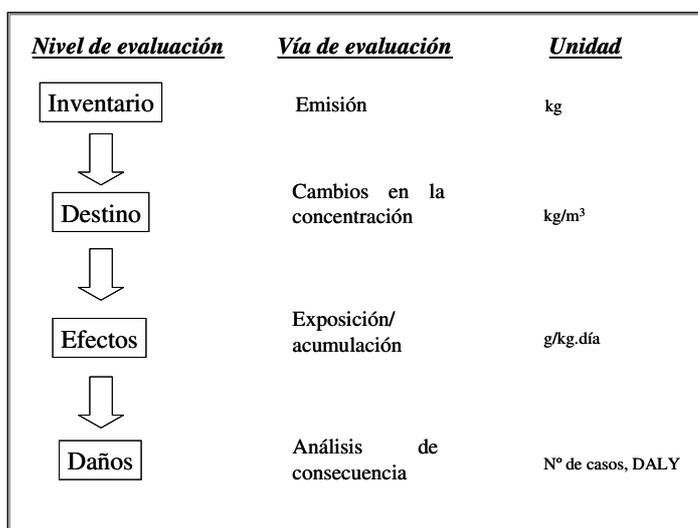


Figura 3.1 Desarrollo consecutivo de los niveles de detalle en la evaluación ambiental.

Con base en los niveles de evaluación, los procesos o actividades industriales pueden ser analizados desde el punto de vista ambiental, en las diferentes etapas que lo conforman.

3.2 MÉTODOS DE EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DE PROCESOS

Un proceso es una secuencia de actividades que transforma de manera coordinada materias primas en productos o servicios con valor agregado para un beneficiario [Alban, 1988]. Un proceso industrial bien diseñado, deberá considerar en forma equilibrada los tres aspectos: técnico, económico y ambiental. El diseño de los procesos hace referencia a la manera como se organizan los distintos factores que conducen al logro de los resultados.

3.2.1 Aspectos generales del análisis de procesos

En la creación de nuevos productos y procesos, existen tres enfoques fundamentales: la simulación, la síntesis y el diseño de procesos. Cada una de estas tareas, presenta características específicas, requiere información de índole diferente y por lo tanto provee resultados aplicables de diversas formas.

Por otra parte, el análisis de procesos incluye el desarrollo de especificaciones y criterios y así mismo, la síntesis, análisis, construcción, prueba y evaluación de soluciones alternativas de procesos nuevos o existentes. Sin embargo, aunque existen diferencias en el desarrollo de los enfoques antes mencionados, los mismos se relacionan, debido a que sus resultados se complementan. La siguiente figura, muestra la relación entre ellos.

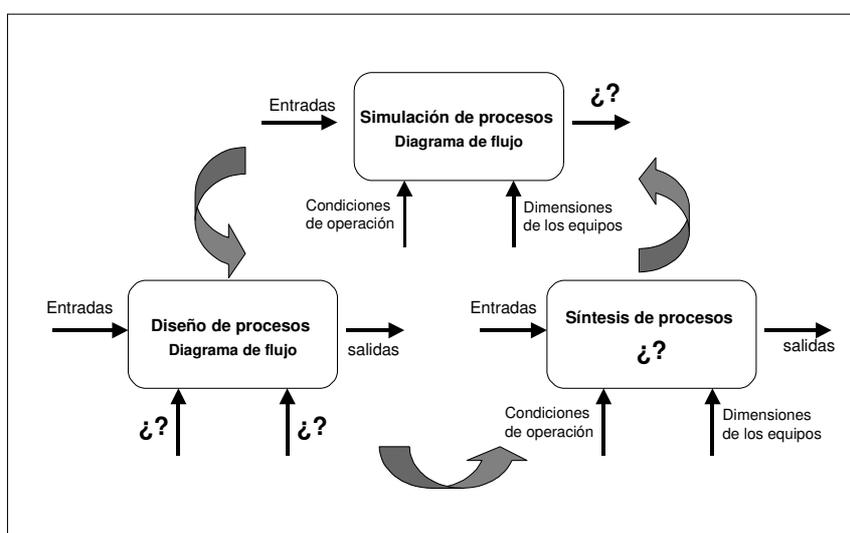


Figura 3.2 Relación entre la simulación, la síntesis y el diseño de procesos.

El diseño de procesos como metodología ya ha sido comentado anteriormente en esta memoria, por lo que en este capítulo, únicamente se describirán los aspectos relacionados con la simulación y la síntesis de procesos.

Simulación de Procesos. La simulación de procesos es una herramienta que agiliza la solución de problemas en el diseño, puesto que permite crear detalladamente y con alta precisión el comportamiento de procesos para su análisis y optimización [Ben-Guang et al, 2000].

A través de la simulación es posible resolver balances de materia y energía, encontrar las relaciones de equilibrio y las expresiones cinéticas de procesos de fabricación. Así mismo, permite predecir las condiciones de operación, la composición de las corrientes de los procesos, el tamaño de los equipos y estimar costes.

La simulación de procesos se perfila como una herramienta muy útil de procesos industriales. Con dicha herramienta, es posible optimizar los procesos y minimizar las emisiones, así como

realizar estudios económicos y de emisiones. Sin embargo, los resultados obtenidos en la simulación, son sólo predicciones, por lo que es necesario validar las mismas con datos experimentales, tanto de propiedades físicas de los compuestos (equilibrios, datos cinéticos) como con datos reales de planta (eficacia, volumen de líquido retenido, entre otros).

Los aspectos de que consta el proceso de simulación y que cubren los principales tópicos son:

- Definición del sistema de propiedades termodinámicas y físico-químicas.
- Descripción de los componentes involucrados en las reacciones y equipos.
- Especificación de productos.
- Descripción del proceso a partir de un diagrama de flujo.
- Dimensionamiento de equipos.
- Descripción de las estrategias de control.

La simulación de procesos desarrolla una serie de pasos que cubren los aspectos antes mencionados, tales pasos se mencionan a continuación.

1. Definición de unidades
2. Descripción de propiedades (Ecuaciones de estado, métodos de estimación)
3. Definición de componentes implicados (Base de datos)
4. Descripción de las características de las corrientes (temperatura, presión, composición, etcétera)
5. Grados de libertad
6. Secuencia de los procesos (Diagramas de flujo de proceso)
7. Definición de las estrategias de control

Síntesis de Procesos. La síntesis de procesos es una de las técnicas que se desarrollan como parte de las tareas del análisis de procesos. Esta técnica se basa en la generación de estructuras o niveles y la predicción de propiedades. A su vez, la síntesis de procesos se basa en la comparación de diversas alternativas que permiten el desarrollo de tales procesos, escogiéndose entre ellas la que mejor se ajuste a las características deseadas.

Ahora bien, aunque la síntesis de procesos mantiene una estrecha relación con técnicas como la simulación y el diseño, presenta también diferencias fundamentales tales como la posibilidad de definir las condiciones de operación necesarias para que se lleven a cabo los procesos; obtener las dimensiones óptimas de los equipos involucrados y así mismo crear los diagrama de flujo de los procesos en estudio.

Esta técnica es utilizada en la síntesis de productos y de proceso, es decir, con ella se pueden desarrollar productos a partir de características definidas (por ejemplo, es posible desarrollar un solvente que permita la eliminación de un componente determinado en una corriente de un proceso) [Turton, 1998].

Al igual que los productos, diferentes operaciones unitarias pueden ser desarrolladas a partir de la síntesis de procesos. Las metodologías que desarrollan síntesis de operaciones unitarias, se basan en la descripción de propiedades que definen si una operación es factible o no. Para ello es necesario describir parámetros tales como: comportamiento ideal de los componentes involucrados en un proceso, formación de azeótropos, u otras características.

Adicionalmente podemos decir, que el análisis de procesos es la definición de las corrientes de entradas y salidas [Sharratt, 1999], y esto sólo puede ser definido a través de criterios que incluyen la purificación de las corrientes de entrada, la separación de los reciclos o subproductos reversibles, el uso de corrientes de purga en los reciclos gaseosos, la determinación de las corrientes de salida y la selección de las variables de diseño (conversión, relación de alimentación y cantidades de recuperación entre otras).

3.2.2 Evolución del análisis de procesos desde una perspectiva ambiental

Teniendo en cuenta los criterios ambientales que deben involucrarse en el análisis de procesos [Yu et al, 2000; Young et al, 1999], así como las diferentes metodologías para el análisis de procesos, en este apartado se describe una metodología para análisis de procesos, que incluye los aspectos ambientales como parte fundamental en la toma de decisiones [Fukushima et al, 2002; Castillo et al, 2000]. Para ello, la metodología describe los pasos necesarios en el análisis de procesos, de manera que en cada uno de ellos sea posible su integración con la evaluación ambiental.

La metodología de análisis de procesos que se propone consta fundamentalmente de dos partes, la primera de ellas es la descripción de aspectos preliminares, de manera que se identifiquen claramente los objetivos del análisis, el proceso a analizar, o sobre el cual se efectuará el análisis y las áreas de protección (población objeto) que se tendrán en cuenta. La segunda parte o el desarrollo de la metodología, se realiza a través de los pasos que se mencionan a continuación:

1. Definición de objetivos y alcance del análisis del proceso.

2. Definición de las fronteras del sistema

Proceso unitario (UP)

UP y extracción de materias primas (UPEMP)

UPEMP e incluyendo el transporte (PPEMPT)

3. Información básica del proceso

Diagramas

Diagrama de bloques

Diagrama de proceso

Diagrama de tuberías e instrumentación

4. Identificación de las corrientes del proceso

Principales (materias primas, energía, productos)

Secundarios (subproductos y reciclós)

Descargas (Emisiones, vertidos, residuos sólidos)

5. Descripción de Operaciones Unitarias

Reacción

Separación

Combustión

Otras

6. Integración energética (generación, co-generación)

7. Análisis económico I (tipo I, II)

8. Mejoras técnicas para mitigación de efectos (tecnologías de remediación)

9. Análisis económico II (tipo III)

10. Análisis económico III (tipo IV, V)

11 Toma de decisiones con base en criterios ambientales

Una vez descritos los aspectos metodológicos de la evaluación ambiental y del análisis de procesos, en los siguientes capítulos se presenta el modelo conceptual definido para la integración de los aspectos ambientales en los procedimientos de toma de decisiones durante las diferentes fases de un proceso industrial.

REFERENCIAS

Alban L. Control de procesos. Ediciones Previas. Facultad de Ingeniería-CESET. Universidad de Antioquia. Colombia (1988)

Ben G. Study on the methodology for retrofitting chemical processes. Chem. Eng. Tech. 23.6 479-484. (2000)

Castillo E., Mora M. Mathematical modelling as a tool for environmental evaluation of industrial sectors in Colombia. Waste management 20 617-623. (2000)

Environmental European Agency (EEA). Evaluación de los efectos de determinados planes y programas en el medio ambiente. Directiva 2001/42/CE del Parlamento Europeo y del Consejo. (2001)

Fukushima Y. A Structured Framework and Language for Scenario-Based Life Cycle Assessment. . Int J LCA. Vol.7 (6), 317-329 (2002)

Hauschild M. Methods of assessment of toxicity. Paper for SETAC-Europe WIA” Task Group on ecotoxicity. (2000)

Hertwich E. Evaluating the environmental impact of products and production processes: a comparison of six methods. The science of total environment, 196 13-29. (1997)

Pedersen B. Two fictional life cycle assessment. UETP-EEE. ISBN 951-9110-97-6. (1993)

Riera P. Avaluació d'impacte ambiental. Monografies de medi ambient. Generalitat de Catalunya (2000)

Rodriguez A., Herrera I., Schuhmacher M., Bañares-Alcantara R. Retrofit of Processes and Environmental Analysis, a decision support alternative in process engineering”. 4º European congress in Chemical Engineering. Spain. (2003)

Sharratt P. Environmental criteria in design. Computers and chemical engineering 23 1469-1475. (1999)

Sinha S. Environmental impact assessment: an effective management tool. TERI information monitor on environmental science. 3 (1): 1-7. (1998)

Sonneman G., Schuhmacher M., Castells F. Framework for the environmental damage assessment of an industrial process chain. Journal of Hazardous Materials. B77. 91 – 106. (2000)

Urmila P. Process design for the environment: a multi-objective framework under uncertainty. Clean products and processes 2 92-107. (2000)

Young C. Designing sustainable processes with simulation: the waste reduction (WAR) algorithm. Computers and chemical engineering 23 1477-1491. (1999)

